


## Solar panel with prismatic glass ridges - uses triangular surfaces at optimum angle for internal reflection

**Patent number:** DE4124795  
**Publication date:** 1992-02-20  
**Inventor:** GOETZBERGER ADOLF PROF DR (DE)  
**Applicant:** FRAUNHOFER GES FORSCHUNG (DE)  
**Classification:**  
- international: G02B5/00; H01L31/052; H02N6/00  
- european: F24J2/06D; G02B5/04A; H01L31/0236; H01L31/052B  
**Application number:** DE19914124795 19910726  
**Priority number(s):** DE19914124795 19910726; DE19904023958 19900727

Also published as:

 DE4124795 (A1)

[Report a data error here](#)

### Abstract of DE4124795

A planar array of voltaic cells (3) lies below a layer of triangular prismatic glass ridges (2) which refract any incident radiation on to their opposing surfaces where it is totally internally reflected on to the cell-array over a range of the incident angles. The optimum angle of the ridge vertices ( $2 \times \gamma$ ) is defined for glass with a refractive index of 1.5. A radiation-throughput efficiency of over 95% is maintained over an angular range of nearly 90 deg. between overhead and horizontal radiation. ADVANTAGE - Present clean surface with higher efficiency than flat panel.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 24 795 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 31/052**  
G 02 B 5/00  
H 02 N 6/00

②1 Aktenzeichen: P 41 24 795.7  
②2 Anmeldetag: 26. 7. 91  
④3 Offenlegungstag: 20. 2. 92

DE 41 24 795 A 1

③0 Innere Priorität: ③2 ③3 ③1  
27.07.90 DE 40 23 958.6

⑦1 Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

⑦2 Erfinder:  
Goetzberger, Adolf, Prof. Dr., 7802 Merzhausen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Solarmodul

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Solarmodul mit einer durchsichtigen Abdeckung und einer darunter befindlichen Solarzelle. Zur Erzielung eines besseren Wirkungsgrades wird vorgeschlagen, die außenliegende Oberfläche der Abdeckung mit Rillen mit prismatischem Querschnitt zu versehen, und durch geeignete Wahl des Scheitelwinkels der Rillen die Reflexion an der Oberfläche der Abdeckung zu vermindern.

DE 41 24 795 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Solarmodul gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, wie es aus der EP A 02 55 900 bekannt ist.

Die Wirkungsgrade von Solarzellen werden mit erheblichem Aufwand kontinuierlich erhöht. Dies geschieht vor allem durch Verbesserung der Materialien und der Halbleitertechnologie. Da der Wirkungsgrad von erheblicher Bedeutung für die Gesamtsystemkosten ist, werden auch aufwendige Prozeßschritte in Kauf genommen, um den Wirkungsgrad z. B. von 13 auf 14% zu erhöhen. Üblicherweise wird der Wirkungsgrad unter Standardbedingungen, z. B. AM 1,5 Spektrum und senkrechtem Lichteinfall, gemessen.

In der Praxis der terrestrischen Anwendung werden die Solarzellen in Module verpackt, die zum Schutze gegen Witterungseinflüsse eine Oberflächenabdeckung aus gehärtetem, eisenarmem Glas aufweisen. Die Solarzellen werden mit Hilfe von thermoplastischen Kunststoffen mit dem Glas hermetisch verbunden. Dadurch entsteht eine gute reflexionsmindernde optische Ankopplung. Die äußere Oberfläche der Module ist in den meisten Fällen eben, es werden aber auch Oberflächen mit unregelmäßig gewellter Oberfläche zur Vermeidung von Blendung hergestellt.

Aus der EP 2 55 900 ist es bekannt, das ankommende Licht, was auf die Leiterbahnen, die ca. 6–10% der Fläche ausmachen, aufreffen würde, durch Oberflächenstrukturierungen abzulenken auf der Solarzelle selbst. Diese Oberflächenstrukturen sind Rillen mit prismatischem oder linsenförmigen Querschnitt. Damit die Aufgabe der Strahlablenkung erfüllt wird, muß die Solarzelle nachgeführt werden und die Form, und insbesondere der Scheitelwinkel  $2\gamma$  der Rillen ist abhängig von dem Abstand der Leiterbahnen auf der Solarzelle. Mit dieser Lösung befassen sich auch die US-PS 40 53 327 und 43 79 202.

Bei sehr dünnen Schichten andererseits will man bei senkrechtem Einfall verhindern, daß das Licht ohne Umwandlung durch die Schicht geht und sieht zu diesem Zweck ebenfalls prisma- oder linsenförmige Strukturen auf der Rückseite der Solarzelle vor, die den Strahl dann zurück in die Solarzelle reflektieren (US 39 73 994 und DE-OS 34 31 603).

Bei all diesen Lösungen sind die Scheitelwinkel in der Größenordnung von 90° oder größer.

Das Ziel der hier beschriebenen Erfindung ist dagegen, die Oberflächenreflexion bei nicht senkrechtem Einfall der Strahlen zu vermindern. Für normales Glas mit einem Brechungsindex von etwa 1,5 beträgt die Transmission an der Oberfläche bei senkrechtem Einfall 96%, nimmt aber bei schrägem Einfall ab und sinkt bei 90° Einfallswinkel (gegen die Senkrechte) auf Null. Für diffuses Licht, das mit gleicher Intensität aus allen Richtungen kommt, ist der gemittelte Reflexionskoeffizient 17%.

Für direkte Sonnenstrahlung gelten ähnliche Voraussetzungen wie für diffuses Licht, da die Sonne im Laufe eines vollen Tages in bezug auf eine zur Sonnenbahn senkrechte Empfängerfläche alle Einfallsrichtungen durchläuft.

Üblicherweise werden Sonnenkollektoren und Photovoltaikmodule mit einem Neigungswinkel gleich der geographischen Breite nach Süden ausgerichtet aufgestellt. Dann betragen die Einfallswinkel in Ost-West-Richtung

–90° – +90°

und in Nord-Süd-Richtung  
–23,45° – +23,45°.

Somit sind die Verhältnisse ähnlich, d. h. die Reflexionsverluste für Globalstrahlung an einer Glasoberfläche sind über das Jahr gemittelt in der Größenordnung von 15%.

Bisher bekannte Maßnahmen zur Reflexionsverminderung sind:

1. Beschichtung der Glasoberfläche mit Interferenz-Antireflexschichten. Das Verfahren wird für optische Geräte technisch eingesetzt, scheitert aber für Solarmodule nicht nur wegen der hohen Kosten, sondern weil ein sehr breiter Spektralbereich und ein großer Winkelbereich erfaßt werden müssen.

2. Oberflächliches Anätzen der Gläser. Hier werden stark natriumhaltige Gläser oberflächlich ausgelaugt und damit ein gradueller Übergang des Brechungsindex erzielt. Das Verfahren liefert gute Ergebnisse, wird aber nicht eingesetzt, da die Auslaugung kostenaufwendig ist und Spezialgläser eingesetzt werden müßten, die nicht marktgängig sind.

3. Oberflächenstrukturierung mit submikroskopischen Beugungsgittern (R. H. Morf und H. Kiess, 9th European PV-Solar Energy Conference, Freiburg, 1989, Proc. S. 313). Dieses Verfahren existiert bisher nur als Vorschlag. Es erzielt einen ähnlichen Effekt wie unter 2, basierend auf eingepprägten Stufengittern mit Dimensionen von etwas 0,1 µm. Wegen der kleinen Dimensionen und Fragilität der Strukturen, dürfte die Realisierung auf Schwierigkeiten stoßen.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Oberflächenstrukturierung zu schaffen, die die Oberflächenreflexion bei nicht senkrechtem Einfall der Solarstrahlung vermindert. Ideal wäre eine stark aufgerauhte Glasoberfläche, die durch Mehrfachreflexion zu fast vollständiger Absorption des Lichts führen würde. Da es sich jedoch um die äußere Abdeckung eines Solarmoduls handelt, ist eine solche Oberfläche nicht verwendbar, da sie zu leicht verschmutzt.

Diese Aufgabe wird durch ein Solarmodul nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Das erfindungsgemäße Modul zeichnet sich dadurch aus, daß die möglichen Einfallswinkel der direkten Sonnenstrahlung und gleichzeitig die Minimierung der Verschmutzung berücksichtigt wird, ohne daß das Modul der Sonne nachgeführt werden muß.

Die Maßnahmen nach den Ansprüchen 2–4 geben bevorzugte Scheitelwinkel an.

Die Maßnahme nach Anspruch 6 bewirkt, daß der Wirkungsgrad des Moduls besonders hoch wird.

## Beschreibung der Erfindung

Im folgenden soll die Erfindung anhand der Abb. 1–4 erläutert werden.

Abb. 1 zeigt das Modul in perspektivischer Sicht. Die Glasabdeckung 1 hat eine regelmäßige dach- und prismenförmige Oberflächenstrukturierung. Die Solarzellen 3 sind an die Glasabdeckung optisch gut angekoppelt. Wichtig ist, daß die Rillen in Nord-Süd-Richtung bzw. von oben nach unten in einer schräg aufgestellten Anordnung verlaufen. Dann wird einerseits die direkte Sonnenstrahlung optimal absorbiert und weiterhin ge-

währleistet, daß die senkrecht verlaufenden Rillen durch Regenwasser sauber gehalten werden. Es ist besonders vorteilhaft, wenn die Solarzellen eine möglichst richtungsunabhängige Absorptionskennlinie aufweisen, da die Lichtstrahlen in der Glasabdeckung eine wesentlich größere Winkelverteilung haben als in einer ebenen Platte. Moderne Solarzellen haben diese Absorptionseigenschaften.

Der Winkel an der Spitze der prismenförmigen Rillen muß zur Steigerung des Wirkungsgrades durch Minderung der Reflexion an der Oberfläche optimiert werden. Abb. 2 gibt die Winkelabhängigkeit der Anordnung an. Der Winkel  $2\gamma$  am Scheitel des Prismas soll einerseits möglichst klein sein, denn durch zu flache Strukturen würde zuviel Licht nach oben reflektiert werden. Im Grenzfall für  $\gamma \rightarrow 90^\circ$  entsteht eine ebene Oberfläche. Andererseits soll das ins Glas eingetretene Licht nicht wieder austreten, da durch weitere Reflexion Lichtverluste auftreten würden. Daraus resultiert die Forderung, daß der äußerste noch zu absorbierende Strahl, z. B. ein horizontaler Strahl 4 nach Brechung an der Eintrittsstelle am Punkt 5 total reflektiert werden soll.

Unter Heranziehung der Brewster'schen Gleichung und der Winkelbeziehung von Abb. 2 ergibt sich entsprechend Abb. 2 für das Dreieck ABC die Winkelbeziehung  $180 - 2\gamma + \beta + \gamma = 180$  und daraus  $\delta = 2\gamma - \beta$ . Nach dem Brechungsgesetz gilt  $\sin \beta = (\sin \alpha)/n$  und somit

$$\delta = 2\gamma - \arcsin((\sin \alpha)/n).$$

Mit der weiteren Bedingung für die Totalreflexion im Punkt 5 wird

$$\sin \delta = 1/n$$

und damit

$$\frac{1}{n} \leq \sin \left[ 2\gamma - \arcsin \left( \frac{\sin \alpha}{n} \right) \right]$$

Für waagerechten Lichteinfall ist  $\alpha = \gamma$  und die Beziehung vereinfacht sich zu

$$\frac{1}{n} \leq \sin \left[ 2\gamma - \arcsin \left( \frac{\sin \gamma}{n} \right) \right]$$

In der Praxis wird man  $\alpha$  im Bereich  $\gamma - 10^\circ \leq \alpha \leq \gamma$  wählen. d. h. man will Sonnenstrahlen höher als  $10^\circ$  über dem Horizont noch gut absorbieren. Abb. 2 stellt einen Schnitt dar, man kann jedoch zeigen, daß Strahlen, die aus Richtungen außerhalb der Zeichenebene kommen, unter flacheren Winkeln an Punkt 5 angekommen, d. h. die totale Reflexionsbedingung ist für alle Strahlen erfüllt.

Setzt man einen üblichen Brechungsindex für Glas von  $n = 1,5$  in obige Beziehung ein und löst nach  $\gamma$  auf, dann erhält man  $\gamma = 32^\circ$ . Die Abhängigkeit der Lichtabsorption einer derartigen Struktur vom Einfallswinkel wurde mit Hilfe eines die Strahlung simulierenden Programms berechnet und mit der einer ebenen Oberfläche verglichen. Abb. 3 zeigt die Transmission für  $\gamma = 32^\circ$  und Abb. 4 für eine ebene Oberfläche. Man erkennt die deutliche Verminderung der Reflexion und damit den durch die Erfindung erzielten Vorteil.

#### Patentansprüche

1. Solarmodul bestehend aus einer Abdeckung mit strukturierter Oberfläche auf der nach außen gerichteten Seite aus durchsichtigem Material und darunter befindlichen Solarzellen, wobei die Strukturierung aus kontinuierlichen, sich periodisch wiederholenden Rillen mit prismatischem Querschnitt besteht und das Modul so ausgerichtet wird, daß die Rillen etwa in Nord-Süd-Richtung verlaufen, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Anwendung in nicht nachgeführten und nicht konzentrierenden Systemen der Scheitelwinkel  $2\gamma$  der Prismen so gewählt wird, daß die Bedingung

$$\frac{1}{n} \leq \sin \left[ 2\gamma - \arcsin \left( \frac{\sin \alpha}{n} \right) \right]$$

erfüllt ist, mit  $n$  = Brechungsindex der Abdeckung und  $\alpha$  der äußerste Auftreffwinkel ist, bei dem horizontale Strahlung absorbiert wird, und  $\alpha$  definiert ist als Winkel zwischen dem einfallenden Strahl und der Normalen im Auftreffpunkt.

2. Solarmodul nach dem Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für den Scheitelwinkel  $2\gamma$  folgende Bedingung gilt:

$$\frac{1}{n} \leq \sin \left[ 2\gamma - \arcsin \left( \frac{\sin \gamma}{n} \right) \right]$$

3. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1–2, dadurch gekennzeichnet,

daß  $\gamma = 10^\circ \leq \alpha \leq \gamma$

4. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, daß der halbe Scheitelwinkel  $\gamma$  etwa  $30-35^\circ$ , vorzugsweise  $32^\circ$  beträgt.

5. Solarmodul nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß die Solarzellen eine geringe Richtungsabhängigkeit ihres Lichtabsorptionskoeffizienten aufweisen.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

Abb. 1

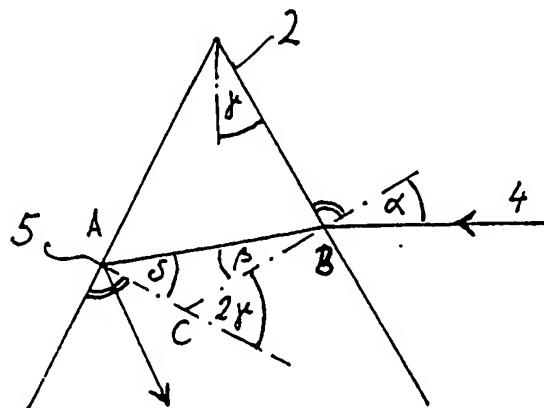
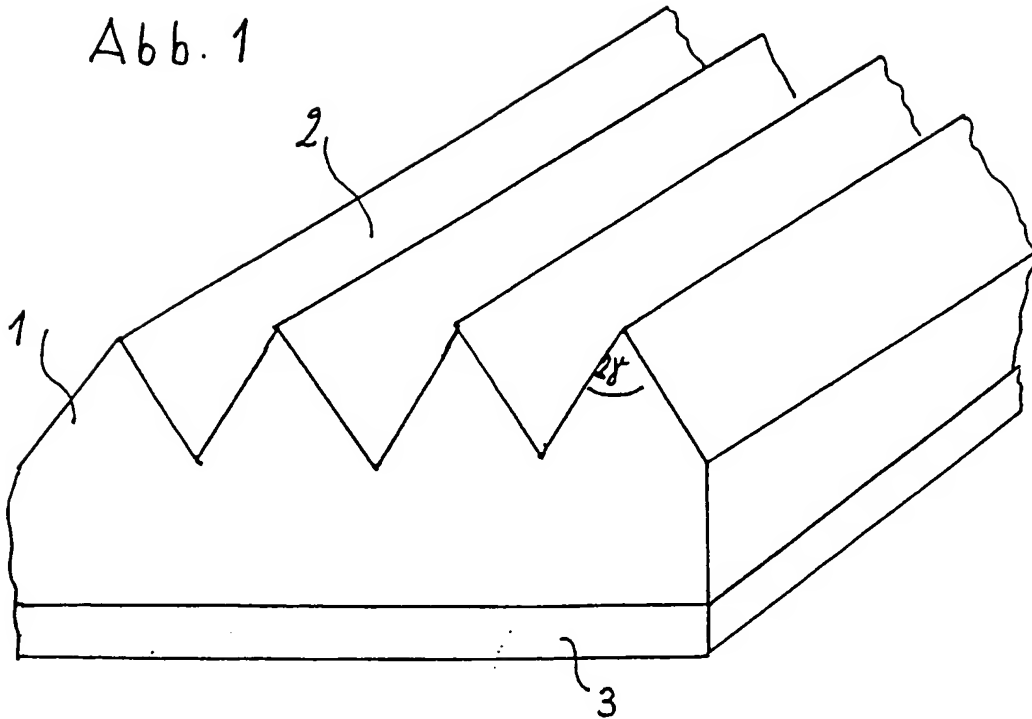


Abb. 2

